Aus dem Physiologischen Institut der Universität Breslau
Direktor: Professor Dr. *H. Schriever*

Die elektrische Erregbarkeit des Nerven bei einer unterschiedlichen Länge der durchströmten Strecke

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der gesamten Medizin
bei der Hohen Medizinischen Fakultät
der Schlesischen Friedrich Wilhelms-Universität
zu Breslau

vorgelegt von

Heinz Bürkner
aus Brieg

Breslau 1939

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Breslau

Referent: Prof. Dr. *H. Schriever*
Dekan: Prof. Dr. *H. Gottron*

Sonderdruck aus
„Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere"
243. Band, 2. Heft
(Verlag von Julius Springer, Berlin W 9)

Die schon von *Galvani* [1] untersuchte unterschiedliche Erregbarkeit des Nerven bei elektrischer Längs- und Querdurchströmung hat frühzeitig dazu geführt, auch Untersuchungen über den Einfluß des Elektrodenabstandes anzustellen. Alle älteren Autoren (*Pfaff* [2], *v. Humboldt* [3], *Ritter* [4], *Gehler* [5], *Matteucci* [6], *Guérard* [7], *Du Bois-Reymond* [8], *Willy* [9], *Marcuse* [10], *Tschirjew* [11], *Hermann* [12], *Albrecht*, *Meyer* und *Giuffré* [13]) sind sich darin einig, daß mit der Verkleinerung des Elektrodenabstandes unter einen bestimmten Wert *größere Spannungen* zur Erregung gebraucht werden. Da bei einer kürzeren durchströmten Nervenstrecke der *Ohm*sche Widerstand kleiner ist, sollte man eigentlich eine Abnahme der Spannungen erwarten. Um so merkwürdiger ist ihre tatsächliche Zunahme, und als Erklärung dafür hatte man vorerst nur die, daß die Erregbarkeit des Nerven bei der Durchströmung einer kürzeren Strecke geringer ist.

Etwas völlig Neues waren die Befunde von *Weiß* [14], *Cardot* und *Laugier* [15] u. a., daß mit Verkleinerung des Elektrodenabstandes *kürzere Zeiten des Stromflusses* sowie *geringere Energien* zur Erregung genügen. Die Angaben der älteren Autoren, daß die Erregbarkeit des Nerven bei der Durchströmung einer kürzeren Strecke geringer ist, erwiesen sich damit höchstens als insofern richtig, als sie sich auf die Stärkeerregbarkeit beziehen. Verwendet man als Maß für die Erregbarkeit die eben nötige Stromdauer

[1] *Galvani, L.:* Opere edite ed inedite, p. 341—342, 422—423. Bologna 1841. — [2] *Pfaff, C. H.:* Über thierische Elektrizität und Reizbarkeit usw. Leipzig 1795. — [3] *Humboldt, F. A. v.:* Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser usw., Bd. I, S. 209. Posen u. Berlin 1797. — [4] *Ritter, J. W.:* Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensprozeß in dem Thierreich begleite, S. 28. Weimar 1798. — [5] *Gehler, J. S. T.:* Physikalisches Wörterbuch, Bd. IV, Abt. 2, S. 759. Leipzig 1828. [6] *Matteucci, M. Ch.:* Bibliothèque universelle de Genève. Nouvelle Série **18**, 357 (1838). — [7] *Guérard, M.:* L'Institut **10**, 426 (1842). — [8] *Du Bois-Reymond, E.:* Untersuchungen über thierische Elektrizität, Bd. I, S. 295. Berlin 1848. — [9] *Willy, K.:* Pflügers Arch. **5**, 275 (1872). — [10] *Marcuse, A. J.:* Verh. physik.-med. Ges. Würzburg N. F. **10**, 158 (1877). — [11] *Tschirjew, S.:* Arch. f. Anat. **489**, 514, 518 (1877). — [12] *Hermann, L.:* Handbuch der Physiologie, Bd. II, Abt. 1, S. 77—79. Leipzig 1879. — [13] *Albrecht, J., A. Meyer* u. *L. Giuffré:* Pflügers Arch. **21**, 462 (1880). — [14] *Weiß, G.:* Arch. ital. de Biol. (Turin) **35**, 413 (1901). — [15] *Cardot, H.* et *H. Laugier:* C. r. Soc. Biol. Paris **76**, 539 (1914).

bzw. Energie, so nimmt die Erregbarkeit mit Verkleinerung des Elektrodenabstandes zu.

Den jeweiligen Steilheitsbedarf des Nerven an Strom bei unterschiedlichem Elektrodenabstand hat zuerst *Schriever* [1] eingehend untersucht. Seinen Ergebnissen zufolge nimmt die Einschleichzeit ab, wenn die durchströmte Strecke kleiner wird, d. h. man kann dann *leichter einschleichen*. Die Änderungen der eben nötigen Stromsteilheit weisen also erneut in Richtung einer herabgesetzten Erregbarkeit bei kleinerem Elektrodenabstand. Da bei letzterem sowohl die Einschleichzeit als auch die Chronaxie kleiner ist, läßt sich weiterhin sagen, daß der Nerv dann als allgemein „flinker" erscheint.

Anlaß dazu, die Erregbarkeit des Nerven bei der Durchströmung verschieden langer Strecken erneut zu untersuchen, gab einmal die bisher völlig unzureichende Deutung der einzelnen Befunde. Zum anderen sind diese in sich nicht unwidersprochen. Neueren Arbeiten zufolge (*Keil* [2], *Eichler* [3], *Schriever* [4]) durchlaufen die bei verschiedenem Elektrodenabstand anzulegenden Schwellenspannungen ein Minimum. Eigenartige Befunde teilen in kürzlich erschienenen Arbeiten auch *Hill* und Mitarbeiter [5] mit. Unter anderem vertreten diese Autoren die Ansicht, daß im Einschleichen überhaupt kein Unterschied mit dem Elektrodenabstand vorhanden ist. Im folgenden berichten wir in einem ersten Teil über Versuche, die der Klärung der hier noch bestehenden Widersprüche dienen. In einem zweiten Teil versuchen wir erstmalig eine einheitliche Deutung der einzelnen Befunde, deren große Wichtigkeit für die Theorie der Nervenerregung heute nicht mehr zu verkennen ist.

I. Experimenteller Teil.

Die Versuche wurden an Ischiadicus-Gastrocnemius-Präparaten des Frosches (meist Esculenten, nur selten Temporarien) in den Monaten November bis April durchgeführt. Als Elektroden dienten übliche Zink-Zinksulfat-Elektroden. Die Röhrchen, die das Zinksulfat enthielten, waren unten durch einen spitz auslaufenden Tonpfropf verschlossen; in ihn war ein kurzer, sehr dünner Wollfaden eingelassen, dessen freies Ende den Nerven punktförmig berührte. Die Zahl der Elektroden, die in den Vorversuchen noch wechselte, betrug später durchweg 5: Die sich dem Muskel zunächst befindliche Elektrode war Kathode, die anderen der Reihe nach Anode. Die Elektroden führten außerhalb der feuchten Kammer, in der sie sich befanden, zu einem Wechselschalter, der einen schnellen Austausch ermöglichte. Die Länge der durchströmten Nervenstrecken betrug 1, 3, 10 und 30 mm (jeweils ungefähre Verdreifachung). Der Muskel stand durch ein Loch im Boden der Kammer in Verbindung mit einem Myographen. Die Reizapparatur war die gleiche wie die in

[1] *Schriever, H.:* Z. Biol. **91**, 173 (1931); **93**, 123 (1932); **93**, 249 (1933). — [2] *Keil, F.:* Z. Biol. **75**, 1 (1922). — [3] *Eichler, W.:* Z. Biol. **88**, 315 (1929). — [4] *Schriever, H.:* Z. Biol. **93**, 134 (1932). — [5] *Hill, A. V.:* Proc. roy. Soc. Lond. B. **119**, 305 (1936). — *D. Y. Solandt:* Proc. roy. Soc. Lond. B. **119**, 355 (1936); **120**, 389 (1936). — *A. V. Hill, B. Katz* and *D. Y. Solandt:* Proc. roy. Soc. Lond. B. **121**, 74 (1936).

den früheren Arbeiten von *Schriever* und *Cebulla* [1], sowie *Schriever* und *Ehrhardt* [2] benutzte. Desgleichen war hier das Vorgehen bei der Bestimmung von Rheobasen, Einschleichzeiten und Chronaxien dasselbe.

1. Die Rheobasen, Einschleichzeiten und Chronaxien bei der Durchströmung verschieden langer Nervenstrecken.

Nähere Aufschlüsse über die Änderung dieser Größen gibt die Tabelle 1. Aus ihr ist zu ersehen, daß die Einschleichzeiten und Chronaxien um so kleiner sind, je kleiner der Elektrodenabstand ist. Die Rheobasen

Tabelle 1.

Entfernung der Elektroden (in mm)	Rheobase (in Volt)	Einschleichkapazität (in μF)	Einschleichzeit (in σ)	Chronaxiekapazität (in μF)	Chronaxie (in σ)	Zeitenquotient
Versuch 1 (vom 8. 11. 38, Zimmertemperatur 17°).						
1	2,5	0,170	4,76	0,0028	0,17	27,4
3	1,2	0,185	5,18	0,0034	0,21	24,6
10	0,6	0,214	5,99	0,0043	0,26	23,0
30	0,7	0,223	6,24	0,0045	0,28	22,4
Versuch 2 (vom 27. 11. 38, Zimmertemperatur 17°).						
1	2,5	0,185	5,18	0,0030	0,19	27,9
3	1,2	0,193	5,40	0,0034	0,21	25,6
10	0,5	0,220	6,16	0,0044	0,27	22,6
30	0,6	0,225	6,30	0,0047	0,29	21,3
Versuch 3 (vom 18. 12. 38, Zimmertemperatur 16°).						
1	2,1	0,160	4,48	0,0029	0,18	24,9
3	1,0	0,170	4,76	0,0034	0,21	22,6
10	0,6	0,202	5,66	0,0043	0,27	21,2
30	0,5	0,210	5,88	0,0046	0,29	20,6
Versuch 4 (vom 7. 1. 39, Zimmertemperatur 15°).						
1	2,2	0,200	5,60	0,0035	0,22	25,8
3	1,2	0,211	5,94	0,0042	0,26	22,8
10	0,5	0,244	6,83	0,0050	0,31	22,0
30	0,6	0,259	7,25	0,0055	0,34	21,3

dagegen durchlaufen ein Minimum. Dieses ist bei etwa 10 mm Elektrodenabstand zu suchen. Geht man von hier aus zu kleineren Abständen über, so steigen die Rheobasen stark an. Beim Übergang zu größeren Abständen ist die Zunahme geringer. In einzelnen wenigen Versuchen konnte dann sogar ein Gleichbleiben oder eine weitere geringe Abnahme festgestellt werden (vgl. Tab. 1, Vers. 3). Doch ist das Minimum allgemein ohne Zweifel vorhanden, was sich namentlich auch bei der Bildung von Mittelwerten zeigt. Insgesamt

[1] *Schriever, H.* u. *R. Cebulla:* Pflügers Arch. **241**, 1 (1938).
[2] *Schriever, H.* u. *H. Ehrhardt:* Pflügers Arch. **242**, 730 (1939).

führten wir 45 Versuche nach Art der in der Tabelle 1 wiedergegebenen aus. Die aus diesen erhaltenen Mittelwerte sind in der Abb. 1 zeichnerisch dargestellt. Das Minimum bei den Rheobasen ist hier sehr deutlich. Besonders hinzuweisen ist noch darauf, daß der Abfall der Chronaxien mit Verkleinerung des Elektrodenabstandes im allgemeinen stärker als der der Einschleichzeiten ist. Bei 1 und 30 mm Abstand beträgt der Unterschied in den Chronaxien im Mittel 61%, der in den Einschleichzeiten dagegen nur 26%. Diese Verschiedenheit verdient deshalb ein besonderes Interesse, weil sich die Einschleichzeiten und Chronaxien für gewöhnlich

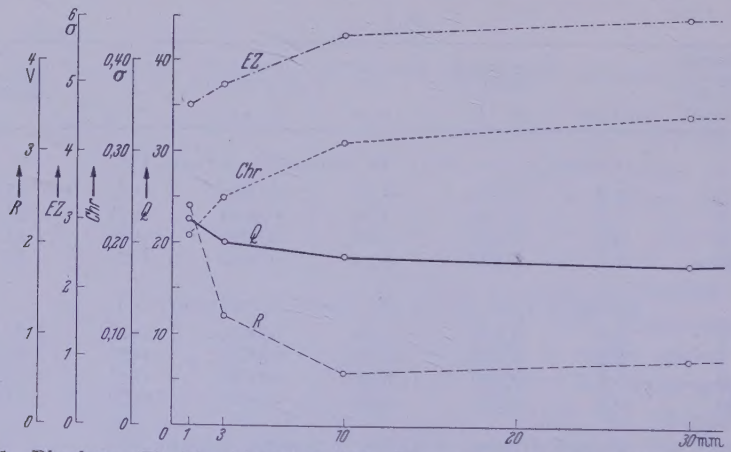

Abb. 1. Rheobase (*R*), Einschleichzeit (*EZ*), Chronaxie (*Chr*) und Zeitenquotient (*Q*) bei unterschiedlichem Elektrodenabstand. Mittelwerte aus 45 Versuchen.

im gleichen Verhältnis zueinander ändern [1], so daß der Quotient aus beiden, der auch kurz „Zeitenquotient" genannt wird, konstant bleibt. *Schriever* und *Cebulla* haben so auch von einem „Gesetz von der Konstanz des Zeitenquotienten" gesprochen. Wenn diesem Gesetz hier keine Gültigkeit zukommt, so liegt das an störenden, sekundären Faktoren, auf die wir unten noch ausführlicher zurückkommen.

2. Die absolute Größe der Einschleichzeiten und Chronaxien.

Bei den eben beschriebenen Versuchen war aufgefallen, daß die Änderungen der Einschleichzeiten und Chronaxien mit dem Elektrodenabstand sehr von der *absoluten* Größe der Werte abhängen: Waren die Werte an sich hoch, wurden durchweg größere Änderungen mit dem Elektrodenabstand gefunden als bei an sich kleinen Werten, sowohl absolut als auch prozentual. Diese Beobachtung erschien uns als von nicht geringer Wichtigkeit. Um festzustellen, inwieweit es sich hier um ein allgemeingültiges Verhalten handelt, gingen wir dazu über, ein

[1] Vgl. *H. Schriever* u. *R. Cebulla*, l. c., S. 12. — *Schriever, H.* u. *H. Ehrhardt:* l. c., S. 733.

und denselben Nerven verschieden zu temperieren. Bekanntlich wirkt eine Kühlung erhöhend auf die Einschleichzeiten und Chronaxien, eine Erwärmung erniedrigend. Wir fragten uns dann, wie sich bei so

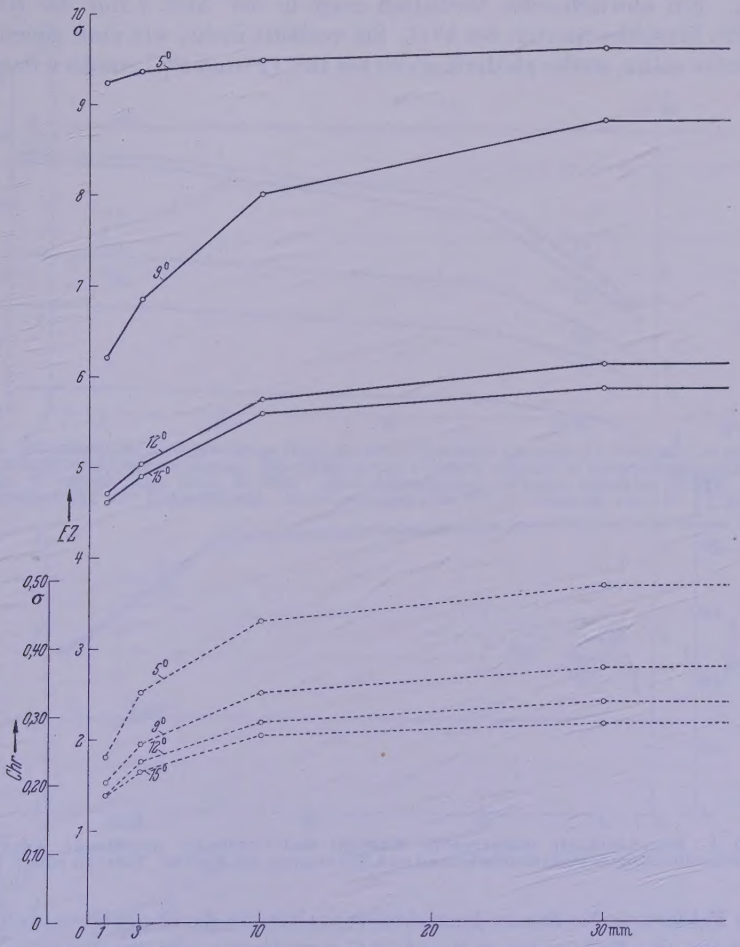

Abb. 2. Einschleichzeit (ausgezogene Kurven) und Chronaxie (punktierte Kurven) bei unterschiedlichem Elektrodenabstand und Kühlung des Nerven. Versuch vom 6. 1. 39.

verschieden temperierten Nerven die Einschleichzeiten und Chronaxien mit dem Elektrodenabstand ändern.

In den Abb. 2 und 3 sind zwei Versuche wiedergegeben, in denen einmal ein Nerv von 15° C auf 5° C gekühlt, ein anderes Mal von 15° C auf 30° C erwärmt wurde. Auf der Abszisse ist der Elektrodenabstand, auf der Ordinate die Einschleichzeit bzw. Chronaxie aufgetragen. Aus den Abbildungen ist deutlich zu ersehen, daß die erhaltenen Kurven um so flacher

verlaufen, je wärmer der Nerv ist, d. h. je kleiner ceteris paribus die absoluten Werte der Einschleichzeiten und Chronaxien sind. Die früher gemachte Beobachtung findet in diesen Versuchen also eine gute Bestätigung. Ein abweichendes Verhalten zeigt in der Abb. 2 nur die Kurve für die Einschleichzeiten bei 5° C. Sie verläuft nicht, wie man eigentlich erwarten sollte, steiler als die Kurven bei 15°, 12° und 9° C, sondern flacher.

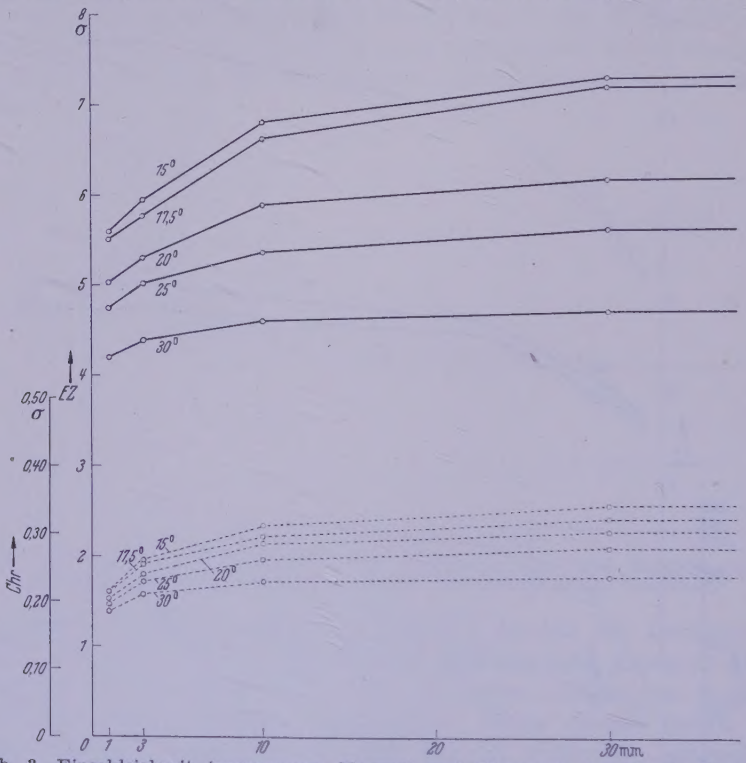

Abb. 3. Einschleichzeit (ausgezogene Kurven) und Chronaxie (punktierte Kurven) bei unterschiedlichem Elektrodenabstand und Erwärmung des Nerven. Versuch vom 7. 1. 39.

Eine Erklärung für dieses Ausnahmeverhalten ist darin gegeben, daß der Nerv bei der Kühlung von 9 auf 5° C von einer nicht-rhythmischen zu einer rhythmischen Reizbeantwortung übergegangen ist. Diese bringt eine Komplikation in die sonst vorliegenden einfachen Verhältnisse, worauf wir im nächsten Abschnitt noch zurückkommen.

Völlig entsprechende Ergebnisse wie bei der verschiedenen Temperierung von Nerven erhielten wir bei der Einwirkung von Narkoticis. Wie unlängst noch *Schriever* und *Ehrhardt* [1] gezeigt haben, wirken Narkotica stark erniedrigend auf die Einschleichzeiten und Chronaxien. Als Narkose-

[1] *Schriever, H.* u. *H. Ehrhardt:* l. c.

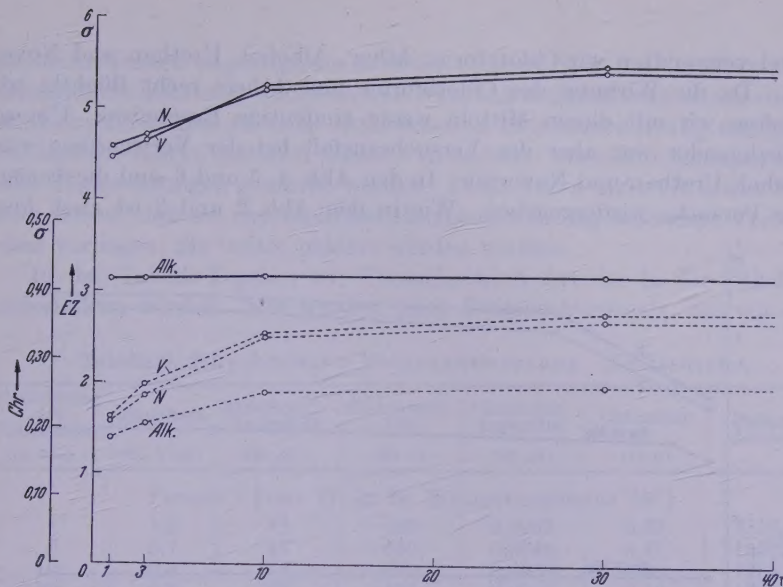

Abb. 4. Einschleichzeit (ausgezogene Kurven) und Chronaxie (punktierte Kurven) bei unterschiedlichem Elektrodenabstand. Einwirkung von 3 %igem Alkohol in Ringerlösung auf den Nerven. *V* vorher, *Alk.* nach 60 Min. Alkoholeinwirkung, *N* nach weiteren 60 Min. und Auswaschung mit Ringerlösung. Zimmertemperatur 17° C. Versuch vom 27. 11. 38.

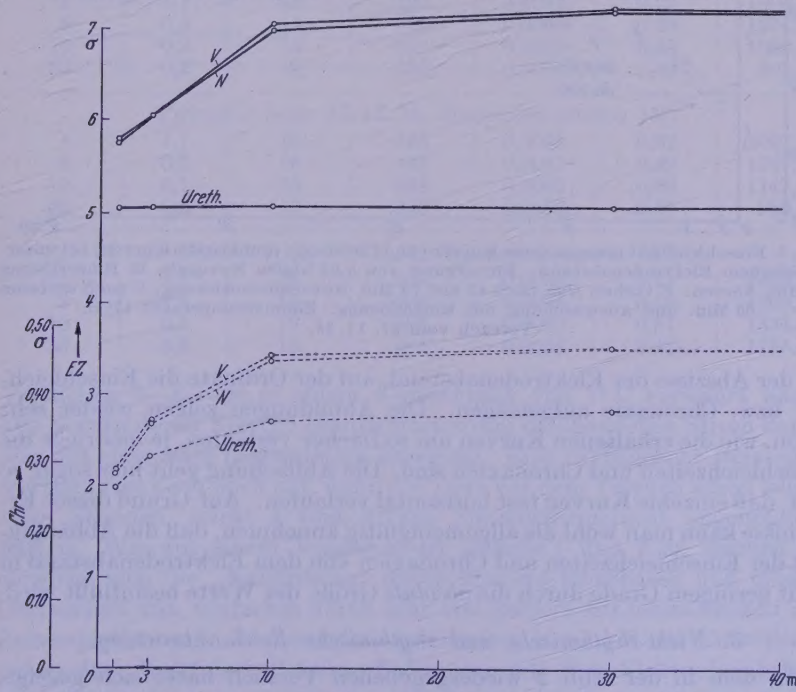

Abb. 5. Einschleichzeit (ausgezogene Kurven) und Chronaxie (punktierte Kurven) bei unterschiedlichem Elektrodenabstand. Einwirkung von 0,5 %igem Urethan in Ringerlösung auf den Nerven. *V* vorher, *Ureth.* nach 60 Min. Urethaneinwirkung, *N* nach weiteren 45 Min. und Auswaschung mit Ringerlösung. Zimmertemperatur 17° C. Versuch vom 27. 11. 38.

mittel verwandten wir Chloroform, Äther, Alkohol, Urethan und Novocain. Da die Wirkung des Chloroforms und Äthers recht flüchtig ist, erhielten wir mit diesen Mitteln wenig eindeutige Ergebnisse. Um so befriedigender war aber der Versuchsausfall bei der Verwendung von Alkohol, Urethan und Novocain. In den Abb. 4, 5 und 6 sind diesbezügliche Versuche wiedergegeben. Wie in den Abb. 2 und 3 ist auch hier

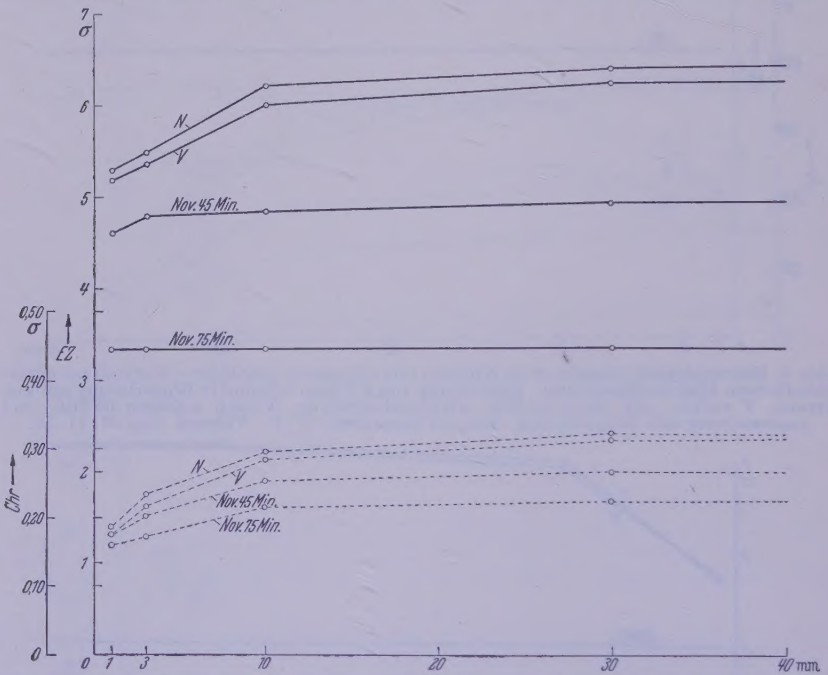

Abb. 6. Einschleichzeit (ausgezogene Kurven) und Chronaxie (punktierte Kurven) bei unterschiedlichem Elektrodenabstand. Einwirkung von 0,05 %igem Novocain in Ringerlösung auf den Nerven. *V* vorher, *Nov.* nach 45 und 75 Min. Novocaineinwirkung, *N* nach weiteren 60 Min. und Auswaschung mit Ringerlösung. Zimmertemperatur 17° C. Versuch vom 27. 11. 38.

auf der Abszisse der Elektrodenabstand, auf der Ordinate die Einschleichzeit bzw. Chronaxie aufgetragen. Die Abbildungen zeigen wieder sehr schön, wie die erhaltenen Kurven um so flacher verlaufen, je niedriger die Einschleichzeiten und Chronaxien sind. Die Abflachung geht hier sogar so weit, daß einzelne Kurven fast horizontal verlaufen. Auf Grund dieser Ergebnisse kann man wohl als allgemeingültig annehmen, daß die Abhängigkeit der Einschleichzeiten und Chronaxien von dem Elektrodenabstand in nicht geringem Grade durch die *absolute* Größe der Werte beeinflußt wird.

3. Nicht-rhythmische und rhythmische Reizbeantwortung.

In dem in der Abb. 2 wiedergegebenen Versuch hatte sich gezeigt, daß die Kurve der für verschiedene Elektrodenabstände erhaltenen

Einschleichzeiten allgemein um so *steiler* verläuft, je kälter der Nerv wird. Schreitet die Kühlung jedoch so weit fort, daß der Nerv von seiner vorher nicht-rhythmischen zu einer rhythmischen Reizbeantwortung übergeht, verläuft die Kurve plötzlich *flacher*. In anderen Versuchen konnten ähnliche Beobachtungen gemacht werden. Diese waren dann ein erster Hinweis darauf, daß bei rhythmischer Reizbeantwortung besondere Verhältnisse vorliegen, die weiter geklärt werden mußten.

In der Tabelle 2 geben wir Versuche nach Art der in der Tabelle 1 angestellten wieder. Nur wurden jetzt Frösche verwandt, die vor den

Tabelle 2. Rhythmische Reizbeantwortung. Kaltfrösche.

Entfernung der Elektroden (in mm)	Rheobase (in Volt)	Einschleichkapazität (in μF)	Einschleichzeit (in σ)	Chronaxiekapazität (in μF)	Chronaxie (in σ)	Zeitenquotient
Versuch 1 (vom 17. 12. 38, Zimmertemperatur 15°.)						
1	1,2	15	420	0,0032	0,20	2116,9
3	0,7	15	420	0,0044	0,27	1539,6
10	0,3	15	420	0,0058	0,36	1168,0
30	0,4	15	420	0,0067	0,42	1011,0
Versuch 2 (vom 17. 12. 38, Zimmertemperatur 15°).						
1	1,1	14	392	0,0035	0,22	1806,5
3	0,5	14	392	0,0046	0,29	1374,5
10	0,2	14	392	0,0061	0,38	1036,5
30	0,2	14	392	0,0070	0,43	903,2
Versuch 3 (vom 17. 12. 38, Zimmertemperatur 15°).						
1	1,1	16	448	0,0036	0,22	2007,2
3	0,5	16	448	0,0047	0,29	1537,4
10	0,1	16	448	0,0063	0,39	1147,0
30	0,2	16	448	0,0073	0,45	989,8
Versuch 4 (vom 17. 12. 38, Zimmertemperatur 15°).						
1	1,2	18	504	0,0033	0,21	2463,3
3	0,6	18	504	0,0045	0,28	1806,5
10	0,2	18	504	0,0060	0,37	1354,8
30	0,3	18	504	0,0068	0,42	1195,4

Versuchen 6—8 Tage in einem Kühlschrank von 1° C verwahrt waren. Die Nerven dieser Frösche beantworteten den rheobasischen Strom durchweg mit einer *stark rhythmischen* Erregung. Eine rhythmische Reizbeantwortung trat auch noch auf, wenn die Tiere vor dem Versuch schon wieder viele Stunden, selbst 1 und 2 Tage Zimmertemperatur angenommen hatten. Wie aus einem Vergleich der Tabelle 1 und 2 zu ersehen ist, zeichnen sich die „Kaltfrösche" durch kleinere Rheobasen und größere Chronaxien aus, weiterhin durch sehr viel größere Einschleichzeiten und Zeitenquotienten [1]. Insbesondere interessiert hier, daß die Einschleichzeiten der „Kaltfrösche" *keine Änderungen* mit dem Elektrodenabstand

[1] Vgl. *H. Schriever* u. *R. Cebulla:* l. c.

erkennen lassen! Was in dem Versuch der Abb. 2 bei einer weniger starken und weniger langen Kühlung nur angedeutet war, wird hier also sehr manifest. Mit dem Erscheinen rhythmischer Erregungen tritt eine Komplikation auf, welche die sonst einfachen Verhältnisse überdeckt. Wie *Schriever* und *Cebulla* bereits an früherer Stelle näher ausgeführt haben, ist es nicht unwahrscheinlich, daß es sich bei solchen rhythmisch antwortenden Nerven sogar um eine andere Art von „Einschleichen" handelt, indem hier die Bedingungen für das Auftreten einer Erregung schlechthin gleich denen für das Auftreten einer *rhythmischen Erregung* sind. Die Rheobasen und Chronaxien zeigen mit Änderung des Elektrodenabstandes bei den „Kaltfröschen" grundsätzlich die gleichen Änderungen wie bei gewöhnlichen Fröschen.

Daß es bei dem Gleichbleiben der Einschleichzeiten in der Tabelle 2 nicht auf die tiefe Temperatur als solche ankommt, sondern auf die durch sie hervorgerufene rhythmische Reizbeantwortung, geht daraus hervor, daß man völlig entsprechende Ergebnisse erhält, wenn der Nerv auf andere Weise zu einem rhythmisch antwortenden wird. In der Tabelle 3 sind Versuche wiedergegeben, in denen der Wechsel in der Reizbeantwortung durch Calciumentzug hergestellt wurde. Den letzteren führten wir in einfacher Weise so aus, daß wir den Nerven auf $^1/_2$—1 Stunde in calciumfreie Ringerlösung brachten. Die Ergebnisse sind denen in der Tabelle 2 insofern entsprechend, als sich auch hier keine bzw. eine nur sehr minimale Änderung der Einschleichzeiten mit dem Elektrodenabstand zeigt.

Damit dürfte auch verständlich werden, warum *Hill* und Mitarbeiter [1] keine eindeutigen Änderungen im Einschleichen bei der Durchströmung verschieden langer Nervenstrecken gefunden haben. Rechnet man die von ihnen ermittelten λ-Werte in Einschleichzeiten um, so entsprechen sie größenmäßig durchweg den hier für rhythmisch antwortende Nerven gefundenen Werten. Es ist also wahrscheinlich, daß die genannten Autoren rhythmisch antwortende Nerven untersucht haben, auch wenn das von ihnen nicht besonders angegeben wird. Jedenfalls paßt das gleichbleibende Einschleichen dazu ausgezeichnet. Wenn so auch wir unter bestimmten Umständen zu einem ähnlichen Ergebnis wie *Hill* und Mitarbeiter kommen, so müssen wir es doch entschieden ablehnen, einen solchen Spezialfall als allgemeingültiges Verhalten hinzustellen.

4. Qualitative Verschiedenheiten.

Die beschriebenen Änderungen der Einschleichzeiten legten es nahe nachzusehen, ob das Einschleichen bei unterschiedlichem Elektrodenabstand nicht auch qualitativ verschieden ist. Es wurden daher an der Stelle von Einschleichzeiten immer wieder Nebenschlußkapazität-Spannungskurven bestimmt. Wie bekannt, verlaufen diese normalerweise

[1] *Hill, A. V.*: l. c.

Tabelle 3. Rhythmische Reizbeantwortung. Calciumentzug.

Entfernung der Elektroden (in mm)	Rheobase (in Volt)	Einschleich-kapazität (in μF)	Einschleich-zeit (in σ)	Chronaxie-kapazität in μF	Chronaxie (in σ)	Zeiten-quotient
Versuch 1 (vom 14. 12. 38, Zimmertemperatur 16°).						
1. Vorher. Nicht-rhythmische Reizbeantwortung.						
1	2,2	0,161	4,51	0,0030	0,19	24,2
3	1,0	0,167	4,68	0,0035	0,22	21,6
10	0,5	0,195	5,46	0,0044	0,27	20,0
30	0,6	0,200	5,60	0,0047	0,29	19,2
2. Nach 30 Min. in Ca-freiem Ringer. Rhythmische Reizbeantwortung.						
1	2,3	0,612	17,14	0,0032	0,20	86,4
3	1,1	0,613	17,16	0,0040	0,25	69,2
10	0,6	0,614	17,19	0,0052	0,32	53,3
30	0,7	0,614	17,19	0,0058	0,36	47,8
Versuch 2 (vom 18. 12.38, Zimmertemperatur 16°).						
1. Vorher. Nicht-rhythmische Reizbeantwortung.						
1	1,9	0,155	4,34	0,0028	0,17	25,0
3	0,9	0,167	4,68	0,0033	0,21	22,9
10	0,6	0,200	5,60	0,0040	0,25	22,6
30	0,7	0,210	5,88	0,0043	0,27	22,1
2. Nach 45 Min. in Ca-freiem Ringer. Rhythmische Reizbeantwortung.						
1	2,4	0,770	21,56	0,0032	0,19	108,7
3	1,2	0,780	21,84	0,0040	0,25	80,0
10	0,7	0,785	21,98	0,0059	0,37	60,1
30	0,9	0,785	21,98	0,0065	0,40	54,5
Versuch 3 (vom 5. 1. 39, Zimmertemperatur 16°).						
1. Vorher. Nicht-rhythmische Reizbeantwortung.						
1	1,8	0,178	4,98	0,0040	0,25	21,0
3	0,9	0,188	5,26	0,0046	0,28	18,5
10	0,5	0,216	6,05	0,0059	0,36	16,5
30	0,6	0,222	6,22	0,0062	0,38	16,2
2. Nach 45 Min. in Ca-freiem Ringer. Rhythmische Reizbeantwortung.						
1	2,2	0,480	13,44	0,0042	0,26	51,6
3	1,0	0,485	13,58	0,0051	0,32	42,9
10	0,6	0,485	13,58	0,0069	0,43	31,8
30	0,7	0,485	13,58	0,0076	0,47	28,8
Versuch 4 (vom 5. 1. 39, Zimmertemperatur 16°).						
1. Vorher. Nicht-rhythmische Reizbeantwortung.						
1	1,6	0,168	4,70	0,0032	0,20	23,7
3	0,9	0,177	4,96	0,0037	0,23	21,6
10	0,4	0,203	5,68	0,0046	0,28	19,9
30	0,5	0,210	5,88	0,0049	0,30	19,4
2. Nach 30 Min. in Ca-freiem Ringer. Rhythmische Reizbeantwortung.						
1	2,1	0,310	8,68	0,0033	0,20	42,4
3	1,0	0,314	8,79	0,0040	0,24	35,5
10	0,5	0,320	8,96	0,0052	0,32	27,8
30	0,6	0,320	8,96	0,0056	0,35	25,8

über einen weiten Bereich angenähert als Gerade. Wie die Abb. 7 als willkürlich herausgegriffenes Beispiel zeigt, sind die Kurven bei der

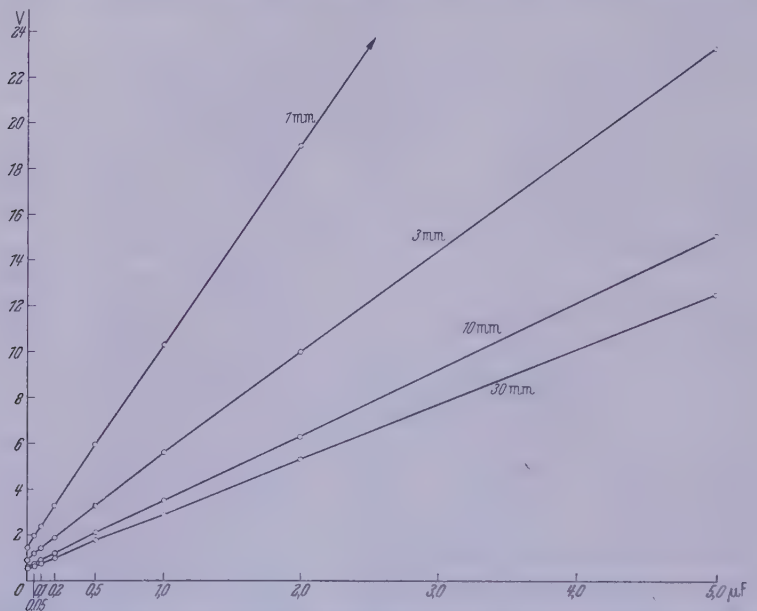

Abb. 7. Bei Reizung mit exponentiell ansteigendem Strom erhaltene Nebenschlußkapazität-Spannungskurven für Elektrodenabstände von 1, 3, 10 und 30 mm. Zimmertemperatur 17°. Versuch vom 5. 1. 39.

Abb. 8. Bei Reizung mit Kondensatorentladungen erhaltene Kapazität-Spannungskurven (punktiert) und Kapazität-Strommengenkurven (ausgezogen) für Elektrodenabstände von 1, 3, 10 und 30 mm. Zimmertemperatur 17°C. Versuch vom 5. 1. 39.

Durchströmung kürzerer Nervenstrecken steiler. Doch waren nie charakteristische Formänderungen in ihnen festzustellen.

Neben den Chronaxien sind von Zeit zu Zeit auch ganze Kapazität-Spannungskurven bestimmt worden. Irgendwelche charakteristische Formänderungen mit dem Elektrodenabstand konnten aber auch bei ihnen nie beobachtet werden (vgl. Abb. 8).

II. Theoretischer Teil.

Betrachten wir den Nerven als Kernleiter, so ist für die Erklärung der obigen experimentellen Befunde in erster Linie die Änderung des Hüllen- und Kernwiderstandes wichtig.

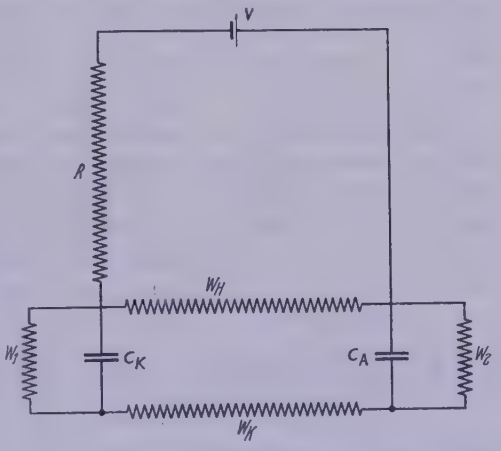

Abb. 9.

In der Abb. 9, die ein vereinfachtes Kernleitermodell darstellt, seien C_A und C_K die anodische und kathodische polarisatorische Kapazität. W_H sei der Hüllen-, W_K der Kernwiderstand. W_1 und W_2 seien Überbrückungswiderstände zur Versinnbildlichung der Permeabilität. In dem Widerstand R sollen alle äußeren Widerstände zusammengefaßt sein, einschließlich derjenigen der Elektroden. V sei die angelegte Spannung.

Es soll angenommen werden, daß eine Erregung immer dann auftritt, wenn C_K eine bestimmte Aufladung v erreicht hat. Für den Fall, daß V gerade gleich der Schwellenspannung ist, wird v gleich der Endaufladung von C_K. Diese letztere ist aus der Potentialverteilung über die Widerstände leicht zu berechnen. Bezeichnet man den Gesamtwiderstand von W_1, W_K, W_2 und dem dazu parallel geschalteten Widerstand W_H mit W_{ges}, so ist:

$$W_{ges} = \frac{W_H (W_1 + W_K + W_2)}{W_H + W_1 + W_K + W_2}. \tag{1}$$

Das Potential an den Enden von W_{ges} nach der Aufladung der Kondensatoren sei V'. Dann ist

$$\frac{V'}{V} = \frac{W_{ges}}{R + W_{ges}},$$

$$V' = \frac{V \cdot W_{ges}}{R + W_{ges}}$$

und unter der Benutzung von (1)

$$V' = V \frac{W_H (W_1 + W_K + W_2)}{R (W_H + W_1 + W_K + W_2) + W_H (W_1 + W_K + W_2)}. \tag{2}$$

Weiterhin ist:

$$\frac{v}{V'} = \frac{W_1}{W_1 + W_K + W_2},$$

$$v = \frac{V' \cdot W_1}{W_1 + W_K + W_2}$$

und unter der Benutzung von (2)

$$(3) \qquad v = V \frac{W_H \cdot W_1}{R(W_H + W_1 + W_K + W_2) + W_H(W_1 + W_K + W_2)}.$$

Für die Schwellenspannung V ergibt sich daraus

$$(4) \qquad V = \frac{v}{W_H \cdot W_1}(R W_H + R W_K + R W_1 + R W_2 + W_H W_1 + W_H W_2 + W_H W_K).$$

Bei der Änderung der Länge der durchströmten Nervenstrecke ändern sich der Hüllen- und Kernwiderstand in gleichem Verhältnis zueinander. Oder anders ausgedrückt: Der Hüllenwiderstand ist dann immer ein Vielfaches des Kernwiderstandes. Wenn man die jeweils erforderliche Schwellenspannung bei einer unterschiedlichen Länge der durchströmten Nervenstrecke kennenlernen will, kann man in der Gleichung 4 also $W_H = nW_K$ setzen. Dann wird

$$V = \frac{v}{n W_K \cdot W_1}(R n W_K + R W_K + R W_1 + R W_2 + W_1 n W_K + W_2 n W_K + n W_K^2),$$

$$(5) \qquad V = \frac{v}{n W_1}\left[n W_K + (R n + R + n W_1 + n W_2) + R(W_1 + W_2)\frac{1}{W_K}\right].$$

Es ist das eine Gleichung von der allgemeinen Form:

$$y = a x + b + \frac{c}{x},$$

wobei

$$a = \frac{v}{W_1}, \qquad b = \frac{v}{n W_1}(n R + R + n W_1 + n W_2), \qquad c = \frac{v R (W_1 + W_2)}{n W_1}.$$

Die Gleichung hat ein Minimum, wenn $x^2 = c/a$ ist. Die Schwellenspannung V hat also ein Minimum, wenn

$$W_K^2 = \frac{v R \cdot (W_1 + W_2)}{n W_1} \cdot \frac{W_1}{v},$$

$$n W_K^2 = R \cdot (W_1 + W_2)$$

ist. Nun ist aber $nW_K = W_H$. Man kann daher auch schreiben:

$$(6) \qquad W_H W_K = R \cdot (W_1 + W_2).$$

Die Schwellenspannung hat also ein Minimum, wenn das Produkt aus Hüllen- und Kernwiderstand gleich dem Produkt aus äußerem Widerstand und den Überbrückungswiderständen ist.

In der Abb. 10 geben wir eine zeichnerische Darstellung der Gleichung 5 (ausgezogene Kurve). Gleichzeitig sind hier nochmals die Werte für die

Schwellenspannungen bei der Durchströmung verschieden langer Strecken aus der Abb. 1 wiedergegeben (punktierte Kurve). Beide Kurven kommen fast zur Deckung. Die Übereinstimmung zwischen der Rechnung und dem Experiment ist hier also die denkbar beste!

In unlängst erschienenen Arbeiten hat auch *Eichler*[1] den Einfluß des Elektrodenabstandes auf die Nervenerregbarkeit untersucht. Unter anderem hat er an dem gleichen vereinfachten Kernleitermodell Rechnungen angestellt, ohne daß er jedoch zu einer entsprechenden Ableitung gekommen wäre. Zur Deutung des fraglichen Minimums weist er darauf hin, daß innerhalb der Hüllenschicht Potentialverluste auftreten, die bei kleinen Elektrodenabständen relativ größer sind und für diese so zu einer Erhöhung der Schwellenspannunng führen müssen. Ferner weist er auf Erregbarkeitsminderungen durch den Anelektrotonus hin, die bei der Durchströmung kürzerer Strecken als größer anzunehmen sind. Aus ihnen folgt dann ebenfalls eine Schwellenerhöhung bei kleinem Elektrodenabstand. Die höheren Schwellen bei der Durchströmung sehr langer Nervenstrecken glaubt *Eichler* so deuten zu dürfen, daß mit diesen der Widerstand und so auch die Dauer der polarisatorischen Aufladung wächst. Daher müsse der Strom bei

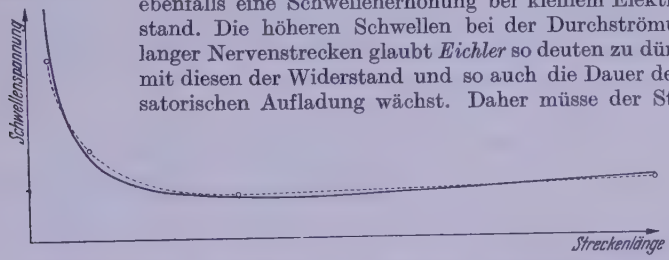

Abb. 10. Schwellenspannung als Funktion der Länge der durchströmten Nervenstrecke. Ausgezogene Kurve errechnet. Punktierte Kurve experimentell gewonnen (Werte aus der Abb. 1). Die beiden Kurven kommen praktisch zur Deckung.

großem Elektrodenabstand leichter einschleichen, was dann in der Schwellenerhöhung zum Ausdruck komme. Uns erscheinen diese Hilfsannahmen entbehrlich. Auch müssen wir darauf hinweisen, daß man bei großem Elektrodenabstand nicht *leichter*, wie *Eichler* meint, sondern *schwerer* einschleichen kann. Das geht aus den dann größeren Einschleichzeiten eindeutig hervor. Auf die Erklärung der letzteren kommen wir unten im Zusammenhang noch zurück.

Die Aufladung des Kondensators C_K in der Zeit vollzieht sich, wie hier nicht näher ausgeführt werden kann, nach folgender Gleichung:

$$v' = v + K_1 e^{r_1 t} + K_2 e^{r_2 t}, \tag{7}$$

wobei v' die zur Zeit t in C_K vorhandene Spannung, e die Basis der natürlichen Logarithmen,

$$v = V \cdot \frac{W_H \cdot W_1}{R\,(W_H + W_1 + W_K + W_2) + W_H\,(W_1 + W_K + W_2)},$$

$$r_1 = -\frac{\alpha}{2} - \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - \beta},$$

$$r_2 = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - \beta},$$

$$K_1 = -v - \frac{N + Q\,r_1\,v}{(r_2 - r_1)\,Q},$$

$$K_2 = \frac{N + Q\,r_1\,v}{(r_2 - r_1)\,Q}.$$

[1] *Eichler, W.*: Z. Biol. **88**, 315 (1929); **91**, 475 (1931); **93**, 407 (1933).

In den letzten Ausdrücken ist

$$\alpha = \frac{1}{C_K C_A}\left[\frac{C_K}{W_2} + \frac{C_A}{W_1} + (C_K + C_A)\,\frac{R + W_H}{R\,W_H + R\,W_K + W_K\,W_H}\right],$$

$$\beta = \frac{1}{C_K C_A}\left[\frac{1}{W_1\,W_2} + \frac{(W_1 + W_2)\,(R + W_H)}{W_1\,W_2\,(R\,W_H + R\,W_K + W_K\,W_H)}\right],$$

$$N = \frac{V\,W_H}{R + W_H},$$

$$Q = C_K \frac{R\,W_H + R\,W_K + W_K\,W_H}{R + W_H}.$$

Wie man sieht, ist die Gleichung 7 sehr kompliziert. Doch wird sie gleich viel einfacher, wenn man $C_A = C_K = C$ und $W_1 = W_2 = W$ setzt. Es ist das eine Vereinfachung, die ohne weiteres statthaft ist, insofern als sie letzthin nur sagt, daß der Nerv allerorts einen gleichen Bau hat. Aus der Gleichung 7 wird dann

$$(8)\quad \left\{ \begin{array}{l} v' = V \cdot \dfrac{W_H \cdot W}{R\,(2\,W + W_H + W_K) + W_H\,(2\,W + W_K)} \times \\ \qquad \times \left(1 - e^{-\frac{1}{C} \cdot \frac{2\,R\,W + 2\,W_H\,W + R\,W_H + R\,W_K + W_H\,W_K}{W\,(R\,W_H + R\,W_K + W_H\,W_K)} \cdot t}\right). \end{array} \right.$$

Für $t = \infty$ wird

$$v' = V \cdot \frac{W_H\,W}{R\,(2\,W + W_H + W_K) + W_H\,(2\,W + W_K)},$$

d. h. v' erhält dann den gleichen Wert, wie er auch schon oben (Gleichung 3) für die Endaufladung v gefunden ist. Für die Halbzeit der Aufladung τ ergibt sich aus der Gleichung 8 der Wert

$$(9)\quad \tau = 0{,}693 \cdot C \cdot \frac{W\,(R\,W_H + R\,W_K + W_H\,W_K)}{2\,R\,W + 2\,W_H\,W + R\,W_H + R\,W_K + W_H\,W_K}.$$

Diese Halbzeit steht offenbar in engster Beziehung zur Chronaxie. Nach der *Ebbecke*schen Kondensatortheorie des Nerven wäre sie mit der Chronaxie sogar identisch.

Zu einer solchen Gleichsetzung von Halbzeit der Aufladung eines Kondensators und Chronaxie kommt *Ebbecke*[1] allgemein durch folgende Überlegung: Tritt eine Erregung immer dann auf, wenn eine bestimmte Aufladung des Kondensators C erreicht ist, so braucht man dazu bei der Verwendung der Schwellenspannung $\mathfrak{V}$ eine Elektrizitätsmenge $\mathfrak{V} \cdot C$. Verwendet man die doppelte Schwellenspannung $2\,\mathfrak{V}$, so wird dieselbe Aufladung gerade nach Ablauf der Halbzeit erreicht. Es ist dann nämlich $^1/_2 \cdot 2\,\mathfrak{V}C = \mathfrak{V}C$. Es ist also die Halbzeit gleich der Chronaxie.

Setzen wir in der Gleichung 9 wieder wie oben (S. 236) $W_H = n\,W_K$, so erhalten wir für die Halbzeit den Wert

$$(10)\quad \tau = 0{,}693 \cdot C \cdot \frac{n\,W\,W_K + W\,R\,(n + 1)}{n\,W_K + (2\,n\,W + R\,n + R) + \frac{2\,W\,R}{W_K}}.$$

[1] *Ebbecke, U.:* Pflügers Arch. **216**, 452 (1927).

Ihre Abhängigkeit von W_K ist dann von der allgemeinen Form

$$y = \frac{a\,x + b}{c\,x + d + \frac{e}{x}},$$

wobei $a = 0{,}693\,CnW$, $b = 0{,}693\,CWR\,(n + 1)$, $c = n$, $d = (2\,nW + Rn + R)$, $e = 2\,WR$. Die Abb. 11 zeigt eine zeichnerische Darstellung dieser Abhängigkeit (ausgezogene Kurve). Gleichzeitig sind in sie die Werte der Chronaxien bei der Durchströmung verschieden langer Nervenstrecken aus der Abb. 1 eingetragen (punktierte Kurve). Man sieht,

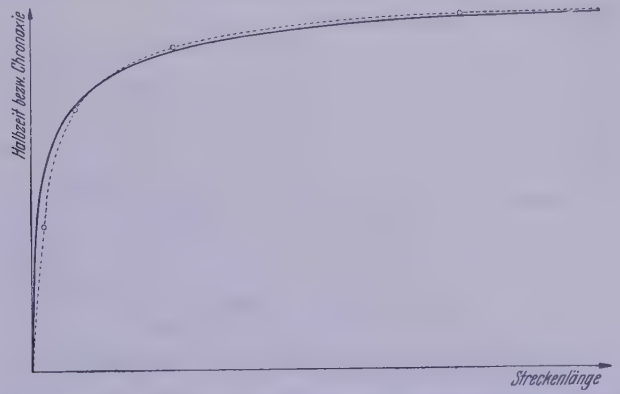

Abb. 11. Ausgezogene Kurve errechnet für „Halbzeit" als Funktion der Länge der durchströmten Nervenstrecke. Punktierte Kurve experimentell gewonnen (Werte aus der Abb. 1) für Chronaxie als Funktion der Länge der durchströmten Nervenstrecke. Die beiden Kurven kommen praktisch zur Deckung.

daß beide Kurven praktisch zur Deckung kommen. Die enge Verbundenheit der errechneten Halbzeit mit der Chronaxie wird dadurch auf das beste belegt.

Die von *Eichler* an dem gleichen vereinfachten Kernleitermodell errechnete Halbzeit ist doppelt so groß wie die von uns gefundene. Im übrigen kommt er hier aber mit uns zu dem gleichen Ergebnis, das wir also nur bestätigen können.

Der Gleichung 10 zufolge besteht zwischen Halbzeit und Kapazität eine direkte Proportionalität. Die Abhängigkeit der Halbzeit von dem Überbrückungswiderstand W, dem Hüllen-Kernverhältnis n und dem äußeren Widerstand R ist dagegen komplizierter. Besonders wichtig ist hier die Abhängigkeit der Halbzeit von W_K bei gleichzeitig sich ändernden W. Man erhält für sie Kurvenscharen nach Art der Abb. 12. Die Ähnlichkeit der letzteren mit den Chronaxie-Kurven aus den Abb. 2 bis 6 ist ohne weiteres in die Augen fallend, und ohne Zweifel besteht hier auch eine innere Abhängigkeit. Wie unlängst noch *Schriever* und *Ehrhardt*[1] ausgeführt haben, finden die Erregbarkeitsänderungen

[1] *Schriever, H.* u. *H. Ehrhardt:* l. c.

des Nerven unter der Einwirkung von Narkoticis eine einheitliche Erklärung darin, daß man eine Lockerung der zu polarisierenden Membran durch die in diese eindringenden Narkoticum-Moleküle annimmt. Diese rufen also eine Zunahme der Permeabilität hervor, W wird kleiner. Nicht unwahrscheinlich ist, daß auch eine Erwärmung permeabilitätserhöhend wirkt, d. h. daß bei einer solchen W ebenfalls kleiner wird. Die gute Übereinstimmung der Abb. 12 mit den Abb. 2 bis 6 ist also sicher nicht zufällig und kann als weitere Bestätigung

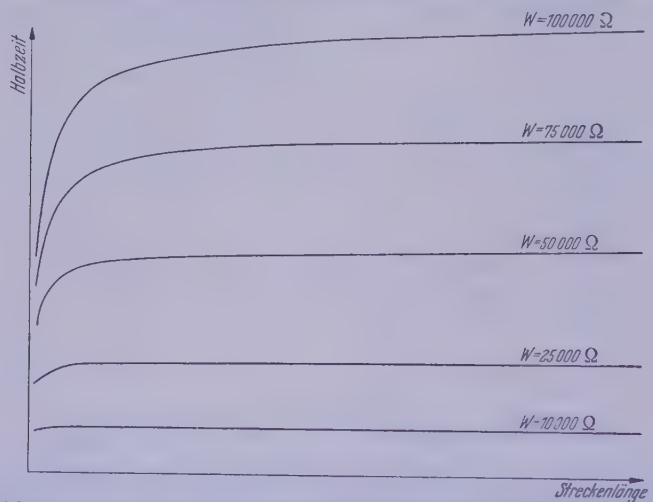

Abb. 12. „Halbzeit" als Funktion der Länge der durchströmten Nervenstrecke für „Überbrückungswiderstände" von 10 000, 25 000, 50 000, 75 000 und 100 000 Ω. Darlegung, wie eine unterschiedliche Permeabilität der zu polarisierenden Membran eine verschiedene Kurvensteilheit hervorruft (vgl. Chronaxie-Kurven aus den Abb. 2—6).

für die enge Verbundenheit der in der Gleichung 10 ausgedrückten Halbzeit mit der Chronaxie aufgefaßt werden.

Die Abhängigkeit der Halbzeit von W_K bei gleichzeitig sich änderndem n ist derart, daß die Kurven zuerst um so schneller ansteigen, je kleiner n ist. Doch kommen sie dafür in ihrem weiteren Verlauf wieder immer mehr zusammen. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß es für die Abhängigkeit der Chronaxie von dem Hüllen-Kernverhältnis einen optimalen Elektrodenabstand geben muß.

Ändert man W_K und R gleichzeitig, so steigen die Kurven zuerst um so rascher an, je größer R ist. Mit zunehmenden Werten von W_K nähern sie sich aber auch hier einander immer mehr. Man muß also folgern, daß es auch für die Abhängigkeit der Chronaxie vom äußeren Widerstand einen optimalen Elektrodenabstand gibt.

Was die Änderungen der *Einschleichzeiten* mit dem Elektrodenabstand angeht, so sind sie nicht ohne weiteres aus dem obigen Modell ableitbar. Doch ist es durch zahlreiche neuere Untersuchungen immer

wahrscheinlicher geworden, daß auch das Einschleichen von der jeweiligen Polarisation abhängt. Nur kommt es bei ihm nicht allein auf die Polarisation unter der Kathode, sondern auch auf die über die Länge des Nerven an. Zum Zustandekommen einer fortgeleiteten Erregung ist es nötig, daß auf hinreichend kurzer Strecke ein hinreichend großes Potentialgefälle geschaffen wird. Ohne das kommt es nicht zur Ausbildung der lokalen Strömchen im Sinne der Theorie von *Hermann* und *Lillie*; die Erregung wird dann nicht fortgeleitet, d. h. der Strom schleicht ein. Die Polarisation unmittelbar unter der Kathode und die über die Länge des Nerven entsprechen einander. Die Beziehungen sind hier normalerweise so, daß Einschleichzeit und Chronaxie in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen („Gesetz von der Konstanz des Zeitenquotienten"). Wenn in den obigen Versuchen die Einschleichzeiten bei kleinem Elektrodenabstand relativ zu hoch sind, d. h. der Zeitenquotient dann höher ist als bei großem Elektrodenabstand, so dürfte das durch sekundäre Faktoren bedingt sein. In erster Linie ist hier an die wechselseitige Beeinflussung von anodischer und kathodischer Polarisation zu denken, die naturgemäß um so stärker ist, je kürzer die durchströmte Nervenstrecke wird. Es ist nicht schwer zu verstehen, daß diese wechselseitige Beeinflussung zu einer relativen Verlängerung der Einschleichzeiten führen muß.

Zusammenfassend ergibt sich also, daß man hier mit der Annahme einfacher *Widerstandsänderungen* bereits zu einer weitgehenden Erklärung kommt. Neben diesen spielt auch noch die unterschiedliche *Polarisation über die Länge des Nerven* eine Rolle. Andere zusätzliche Annahmen, namentlich auch solche über eine geänderte „biologische" Erregbarkeit, erübrigen sich vorerst ganz.

Zusammenfassung.

1. Bei der Durchströmung verschieden langer Nervenstrecken durchläuft die jeweilige Schwellenspannung ein Minimum. Dieses liegt unter gewöhnlichen Bedingungen bei etwa 10 bis 20 mm Elektrodenabstand. Geht man von hier aus zu kleineren Abständen über, steigt die Schwellenspannung stark an. Beim Übergang zu größeren Abständen ist der Anstieg geringer. Es ist dann versucht worden, diese Abhängigkeit der Schwellenspannung von der Länge der durchströmten Nervenstrecke auch theoretisch abzuleiten. Hierbei hat ein vereinfachtes Kernleitermodell Verwendung gefunden. Die Rechnung ergibt eine Gleichung von der allgemeinen Form $y = ax + b + c/x$. Das Minimum der Schwellenspannung wird dann erreicht, wenn das Produkt aus „Hüllen-" und „Kernwiderstand" gleich dem Produkt aus „äußerem Widerstand" und „Überbrückungswiderständen" ist.

2. Die Chronaxien und Einschleichzeiten steigen mit der Länge der durchströmten Nervenstrecke erst schnell, dann immer langsamer an. Der Anstieg der Chronaxien ist prozentual stärker. Demzufolge nimmt

der Zeitenquotient erst schnell, dann immer langsamer ab. Der Anstieg der Chronaxien und Einschleichzeiten hängt allgemein sehr von ihrer *absoluten* Größe ab: Sind die Zeiten an sich länger, ist ihr Anstieg mit der Streckenlänge größer, sowohl absolut als auch prozentual (Versuche an unterschiedlich temperierten Nerven und solchen, die der Einwirkung von Narkoticis ausgesetzt sind). Auch diese Änderungen werden sehr weitgehend theoretisch abgeleitet. Unter anderem ergibt diese Ableitung dann auch, daß es für die Abhängigkeit der Chronaxie vom äußeren Widerstand sowie vom Hüllen-Kernverhältnis einen optimalen Elektrodenabstand geben muß.

3. Die Einschleichzeiten *rhythmisch* antwortender Nerven ändern sich mit der Länge der durchströmten Nervenstrecke nur sehr wenig oder gar nicht. Mit der rhythmischen Reizbeantwortung tritt hier eine Komplikation auf, welche die sonst einfachen Verhältnisse überdeckt.

4. An der Stelle von Chronaxien aufgenommene Kapazitäts-Spannungskurven und an der Stelle von Einschleichzeiten aufgenommene Nebenschlußkapazitäts-Spannungskurven weisen bei der Durchströmung verschieden langer Nervenstrecken nur Verschiedenheiten in ihrer Lage, aber nicht in der Form auf.

Lebenslauf.

Am 22. Juli 1913 wurde ich in Pless (Oberschlesien) geboren. Nach dreijährigem Besuch der städtischen Mittelschule in Brieg trat ich in das dortige staatliche humanistische Gymnasium ein, an dem ich im März 1931 die Reifeprüfung bestand. Bis zum Jahre 1934 war ich industriell tätig. Ich studierte dann Medizin an der Universität Breslau, an der ich 1937 die ärztliche Vorprüfung und 1939 das ärztliche Staatsexamen ablegte.

Heinz Bürkner.